

2020年 1月7日

## 博士学位論文審査報告書

大学名	早稲田大学
研究科名	スポーツ科学研究科
申請者氏名	戚 維璜
学位の種類	博士（スポーツ科学）
論文題目	A Study of Constraints of Stability in Human Rhythmic Movements ヒトのリズミック運動の安定性の制約要因の解析
論文審査員	主査 早稲田大学教授 彼末 一之 医学博士（大阪大学）/工学博士（大阪大学） 副査 早稲田大学教授 川上 泰雄 博士（教育学）（東京大学） 副査 早稲田大学教授 正木 宏明 博士（人間科学）（早稲田大学）

本学位論文は、ヒトのリズム運動に関わる安定性に影響するいくつかの因子について詳細に明らかにしたものである。本論文は全5章によって構成されており、各章の内容は以下のとおりである。

第1章では、リズム運動の分野におけるこれまでの研究、特にリズム運動の分類とその制御メカニズムについてレビューし、本研究の着眼点と目的を提示した。

第2章では、異なる種類のリズミック運動の安定性の違いを分析した。375msから3000msの時間間隔範囲で指先のタッピング（ダイナミック）と指先のプレッシング（アイソメトリック）の二つのタスクを用いて実験を行なった。まずインターバルが音刺激により30秒間提示され、被験者はそれに合わせてタッピングする。その後被験者は音刺激なしにそのインターバルでリズム運動を続けることを指示された。その結果、すべての時間間隔でタッピングの安定性（インターバルの変動係数で定義）がプレッシングの安定性よりも優れていることを明らかにした。さらに、インターバルと安定係数の相関図上にタッピングタスクでは1600ms付近のインターバルにブレイクポイント存在し、その前後での相関係数に有意差が認められた。一方、プレッシングにはブレイクポイントは見られず、1つの回帰直線で表現された。この結果は、タッピングとプレッシングのタイミング形成メカニズムが同じではないことを示唆している。さらに、短いインターバルでのタッピングの安定性の高さは、そのリズム発生が（認知過程を必要としない）自動的な神経機構によるものである可能性を示唆する。

第3章では、第2章の仮説（短いインターバルのタッピングによるリズム運動は自動的な神経機構による）を検証するために、二重課題を用いて、認知負荷が2つのリズム運動（指先のタッピングと指先のプレッシング）のタイミングにどのように影響するかを検討した。2つのタスクのインターバルは375msと2500msを設定した。認知負荷としてはbackward counting（100から逆に数を声にだして数える）を用いた。ここでは、リズム運動の安定性（インタ

ーバルの変動係数)が認知負荷によって影響されなければ、その運動は自動的なものであると仮定した。まず、音刺激に合わせてタッピング、あるいはプレッシングを行い、一定時間後backward countingが加えられた。結果はプレッシングのみならずタッピングにおいても375ms、2500msのいずれのインターバルにおいても同時に認知課題を行うと、リズムの安定性が低下した。この結果から仮説は否定され、たとえ短いインターバルであっても、タッピングは完全な自動運動ではないこと(認知過程が必要)が明らかになった。

第4章では、「ヒトは独立な2つ以上のリズムを刻むことは出来ない」という定説を再検討した。第3章で、指のタッピングという最も単純なリズム運動でも完全な自動運動ではないこと(高次脳による認知過程が必要なこと)を示した。複数のリズムの遂行についてのこれまでの研究はほとんどが両手のタッピングをモデル動作としている。つまり、それらを独立に行うには高次脳が2つのリズムを作り出さねばならないことになる。このことが2つの独立なリズム動作を出来ないという定説を生み出している可能性がある。そこで「1つのリズムが自動的なものであれば、2つの独立したリズム運動は可能である」との仮説の下に、これまでの定説を検証した。実験では、3章で示した「自動運動ではない」指先のタッピングと脊髄のCentral Pattern Generatorが駆動すると言われている(自動的な)歩行を取り上げ、それらを独立なリズムで行ったときの動作の干渉、安定性を検討した。歩行の対照動作としては座位によるかかとタッピングを用いた。2つのリズムのインターバルは375msと600ms(5:8)を用いた。その結果、タッピングと歩行の運動では安定して独立な2つのリズムを刻むことができることが示された。しかも、大部分の被験者で練習をほとんど必要とせずに遂行することができた。一方、歩行と座位のタッピングの組み合わせでは安定したリズムを刻むことはできず、不安定な運動になるか、2:1といった単純な比のリズムに変容してしまった。この結果は、これまでの定説を覆し、独立な2つのリズム運動が可能であることを示している。ただし、それは1つが歩行のように自動的な運動であることが条件である。本章の研究は以下の学術論文として発表した。

**Qi, W.,** Nakajima, T., Sakamoto, M., Kato, K., Kawakami, Y., & Kanosue, K. (2019). Walking and finger tapping can be done with independent rhythms. Scientific Reports 9, 7620.

第5章では総括論議として、第2章から第5章にて得られた知見に基づきヒトのリズミック運動の安定性に影響する因子を調べ、特に2つのリズミック運動を同時に行う時の安定性の制約要因を議論し、この制約要因の分類、評価基準とリズム運動の安定性を改善する(パフォーマンス向上)可能性を示した。

本研究の成果からリズミック運動に関する原理の解明だけではなく、楽器の演奏、スポーツ動作のスキル向上や転倒防止の効果的な方法を提案することなどへの応用が期待できる。上記の通り、研究内容は本研究科入学後の研究成果であり、独創性と学術的意義をもつことが認められる。戚維璜君は博士(スポーツ科学)の学位を授与するに十分値するものと認める。

掲載された学術論文

**Qi, W.,** Nakajima, T., Sakamoto, M., Kato, K., Kawakami, Y., & Kanosue, K. (2019). Walking and finger tapping can be done with independent rhythms. Scientific Reports, 9(1), 7620.

以上